

09/787186

JC02 Rec'd PCT/PTO 15 MAR 2001

1/PRTS

1

Beschreibung

Halbleiterbauelement mit gitterfehlangepaßten Halbleitermaterialien

5

Die Erfindung bezieht sich auf ein Halbleiterbauelement, bei dem in ein und demselben Halbleiterkörper ein erstes Halbleitermaterial mit einer ersten Gitterkonstante mit einem zweiten Halbleitermaterial mit einer zweiten Gitterkonstante kombiniert ist und die erste und zweite Gitterkonstante voneinander verschieden sind.

Ein derartiges Halbleiterbauelement mit gitterfehlangepaßten Halbleiterschichten, bei dem in ein und demselben Halbleiterkörper ein Übergang von einer ersten Halbleiterschicht mit einer ersten Gitterkonstante zu einer zweiten Halbleiterschicht mit einer zweiten Gitterkonstante vorgesehen ist, ist beispielsweise aus Fan Y. et al., Appl. Phys. Lett. 61 (26), 28 December 1992, 3160 - 3162, bekannt. Hierin ist ein Kontaktierungsschema für LEDs und Laserdioden beschrieben, bei dem mittels einer sogenannten pseudograded Zn(Se,Te)-Kontaktschicht ein Übergang von einer p-ZnSe-Schicht auf eine p-ZnTe-Schicht erzeugt ist.

25 Diese pseudograded Zn(Se,Te)-Kontaktschicht besteht aus einer Mehrzahl von ZnSe- und ZnTe-Schichten, wobei sich ZnSe und ZnTe abwechseln und die Dicken der ZnSe-Schichten zur ZnTe-Seite hin abnehmen, während die Dicken der ZnTe-Schichten zunehmen. Die Struktur wird verwendet, um einen ohmschen Kontakt zur p-ZnSe-Schicht mit geringem elektrischen Widerstand zu erhalten.

35 Durch die Verwendung von ZnTe-Schichten werden wegen der enormen Gitterfehlpanpassung zum ZnSe im Halbleiterkörper mechanische Spannungen erzeugt, die das Bauelement mechanisch stark belasten. Relaxieren nämlich die unter Spannung stehenden Schichten, werden Versetzungen und Defekte gebildet, die

die optischen, elektrischen und kristallinen Eigenschaften oftmals stark beeinträchtigen.

5 Die Verspannungen im Halbleiterkörper führen häufig zur Degradation des gesamten Bauelements.

Eine Kombination von Halbleitermaterialien mit verschiedenen Gitterkonstanten ist jedoch wünschenswert, wenn dadurch Probleme, die bei einem der beiden Halbleitermaterialien auftreten 10 überwunden werden können.

Beispielsweise kann die Dotierbarkeit von einem der beiden Halbleitermaterialien deutlich geringer sein als die des anderen. Ein Übergang von dem einen zum anderen Material innerhalb 15 des Halbleiterkörpers ist dann besonders vorteilhaft.

Eine Kombination von Halbleitermaterialien mit verschiedenen Gitterkonstanten ist weiterhin auch in den Fällen wünschenswert, in denen eine Verbindung hergestellt werden kann, die 20 in ihren Eigenschaften zwischen denen der verwendeten Ausgangsmaterialien liegt. Beispielsweise kann die Dotierbarkeit oder die Bandlücke bei ternären Verbindungen in weiten Bereichen variiert werden.

25 Weiterhin kommt es beim Kontakt eines Halbleitermaterials mit einem Metall oft zu einem nichtohmschen, d. h. gleichrichtenden elektrischen Kontakt. Der Grund hierfür ist eine Potentialbarriere, die sich an der Grenzfläche zwischen dem Halbleitermaterial und dem Metall bildet und die ein Hindernis 30 für Elektronen und Löcher darstellt, die vom Metall in den Halbleiter oder umgekehrt fließen sollen. Hohe derartige Potentialbarrieren entstehen, wenn die Austrittsarbeiten des Metalls und des Halbleiters stark unterschiedliche sind.

35 Wird beispielsweise bei einem Halbleiterbauelement auf eine p-leitende ZnSe-Schicht ein Metallkontakt aufgebracht, so entsteht diese Potentialbarriere, weil Elektronen vom Metall,

das die niedrigere Austrittsarbit besitzt (dies gilt gleichermaßen für alle bekannten Metalle), in den Halbleiter wechseln und dort die p-Dotierung nach dem Massenwirkungsgesetz reduzieren. Dadurch wird die Valenzbandkante vom Fermi-

- 5 Niveau weggebogen, und es entsteht eine Barriere. Der Stromfluß von Löchern und Elektronen wird durch die Barriere behindert.

- 10 ZnSe kann unter optimierten Umständen maximal bis zu einer Höhe von  $2 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  mit Stickstoff dotiert werden. Das würde einen ohmschen Kontakt bis zu einer Barriehöhe von weniger als 0,6 eV erlauben. Das Metall mit der niedrigsten Barriere zu ZnSe ist Palladium. Die Höhe der Potentialbarriere ist in diesem Fall etwa 0,9 eV. Bei einer derartigen Barriehöhe  
15 kann aber erst ab einer Dotierung von etwa  $1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  mit einem niederohmschen Kontakt gerechnet werden. Die Unvereinbarkeit der genannten Parameter zeigt, daß es mit Metallen allein nicht möglich ist, einen verlustarmen Kontakt auf p-ZnSe zu erreichen.

- 20 Derartige Probleme treten nicht nur im System ZnSe, sondern beispielsweise auch bei verschiedenen III-V-Verbindungs-halbleitern auf.

- 25 Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Halbleiterbauelement der eingangs genannten Art zu entwickeln, das im Halbleiterkörper verringerte mechanische Spannungen aufweist.

- 30 Diese Aufgabe wird durch ein Halbleiterbauelement mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen des Halbleiterbauelements sind Gegenstand der Patentansprüche 2 bis 6.

- 35 Durch die Ausbildung einer Matrix aus dem ersten Halbleitermaterial, in die mehrere voneinander getrennte, dünne, submonolage Inseln eingebettet sind, können Spannungen im Halblei-

terkörper dadurch gering gehalten werden, daß an den Rändern dieser Inseln die auf der Gitterfehlanpassung beruhenden mechanischen Spannungen abgebaut werden.

5 Durch diese Maßnahme müssen auch bei Kombination von Materialien mit stark unterschiedlicher Gitterkonstante die negativen Auswirkungen von großen Gitterfehlanpassungen weit weniger oder gar nicht in Kauf genommen werden.

10 Unter submonolagen Inseln sind Schichten von Halbleitermaterial zu verstehen, die nicht die gesamte grundsätzlich für den Wachstumsprozess der Schichten zur Verfügung stehenden Wachstumsoberfläche des Halbleiterkörpers überdecken, sondern nur einen Teil davon.

15 Bei einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung ist das zweite Halbleitermaterial höher dotiert wie das erste, wodurch die Dotierstoffkonzentration der gesamten Schicht vorteilhafterweise erhöht ist.

20 Vorteilhafterweise sind die submonolagen Inseln in Ebenen angeordnet, deren Abstände voneinander zu einer Hauptfläche des Halbleiterkörpers hin abnehmen. Dadurch kann z. B. vorteilhafterweise die Dotierung des Halbleiterkörpers zur Oberfläche hin erhöht werden, wenn das erste Halbleitermaterial schlechter dotierbar ist als das zweite.

25 Die letzte Schicht des Halbleiterkörpers kann eine dünne, flächendeckende Schicht aus dem zweiten Halbleitermaterial sein, der beispielsweise als Kontaktierung mehrere Schichten aus verschiedenen Metallen folgen. Bei ausreichend geringer Dicke der abschließenden Schicht (bei ZnTe beispielsweise ca. 5 nm) hat diese keine negativen Auswirkungen auf die darunterliegenden Schichten.

Die Erfindung wird im folgenden anhand eines Ausführungsbeispieles in Verbindung mit den Figuren 1 und 2 näher erläutert. Es zeigen:

5 Figur 1 eine schematische Darstellung eines Schnittes durch das Ausführungsbeispiel senkrecht zu den Halbleiterschichten und

10 Figur 2 ein Diagramm, in dem das Dotierniveau des Ausführungsbeispiels von Figur 1 über eine Schichttiefe schematisch dargestellt ist.

In Figur 1 ist die p-Seite eines Halbleiterkörpers 3 dargestellt, bei der auf einer ersten Halbleiterschicht 9, die aus einem ersten Halbleitermaterial 1, im Ausführungsbeispiel p-  
15 ZnSe, besteht, eine zweite Halbleiterschicht 10 aufgebracht ist, die eine Matrix 4 aus demselben Halbleitermaterial aufweist, aus dem die erste Halbleiterschicht 9 besteht und in die eine Mehrzahl von submonolagen Inseln 5 eines zweiten Halbleitermaterials 2 eingebettet sind.

20 Die submonolagen Inseln 5 bestehen im Falle von p-ZnSe als Matrix-Material, das nur bis zu einem Dotierniveau von maximal  $2 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  dotierbar ist, aus p-ZnTe, das deutlich höher dotierbar ist. Dadurch lässt der elektrische Widerstand, der durch die Potentialbarriere bedingt ist, am Übergang von der zweiten Halbleiterschicht 10 zu einem p-Metallkontakt auf dem Halbleiterkörper deutlich verringern.

30 Die durch diese Ausgestaltung der p-Seite mögliche Erhöhung des Dotierniveaus zur Hauptfläche 7 der zweiten Halbleiterschicht 10 hin ist im Diagramm von Figur 2 dargestellt. In diesem Diagramm ist auf der Ordinatenachse das Dotierniveau in  $\text{cm}^{-3}$  und auf der Abszissenachse die Schichttiefe, ausgehend von der Hauptfläche 7, dargestellt. Die Schichttiefe ist  
35 in beliebiger Einheit angegeben.

In dem Ausführungsbeispiel ist auf der Hauptfläche 7 des Halbleiterkörpers 3 eine die gesamte Hauptfläche 7 bedeckende Schicht 8 aus dem zweiten Halbleitermaterial aufgebracht, die aber so dünn ist, daß sie die darunterliegenden Schichten 9 und 10 nicht beeinträchtigt. Beim System ZnSe/ZnTe beträgt die Dicke vorzugsweise etwa 5 nm.

Diese Schicht 8 ist aber für die grundsätzliche vorteilhafte Wirkung der Erfindung nicht unbedingt erforderlich.

10

Im oben beschriebenen Ausführungsbeispiel kann an Stelle der Matrix 4 aus ZnSe beispielsweise auch eine ZnSeTe-Matrix mit 2% bis 10% Te verwendet sein.

15 Die Matrix 4 mit den darin eingebetteten submonolagen Inseln 5 kann beispielsweise mittels folgendem Verfahren hergestellt werden:

- Herstellen der ersten Halbleiterschicht 9 aus dem ersten Halbleitermaterial 1;
- 20 ■ Aufbringen von mehreren submonolagen Inseln 5 aus dem zweiten Halbleitermaterial 2 auf diese erste Halbleiterschicht 9;
- Aufbringen einer ersten Matrixschicht aus dem ersten Halbleitermaterial 1, die dicker ist als die submonolagen Inseln 5;
- 25 ■ Aufbringen von mehreren submonolagen Inseln 5 aus dem zweiten Halbleitermaterial 2 auf die erste Matrixschicht;
- Aufbringen einer zweiten Matrixschicht aus dem ersten Halbleitermaterial 1, die dicker ist als die submonolagen Inseln 5 und dünner als die erste Matrixschicht;
- 30 ■ usw.

Das vorliegende erfindungsgemäße Prinzip beschränkt sich selbstverständlicherweise nicht auf dieses Ausführungsbeispiel, sondern ist überall dort anwendbar, wo Halbleitermaterialien mit unterschiedlichen Gitterkonstanten kombiniert werden sollen. Das Prinzip ermöglicht, daß auf einfache Weise

schwach dotiertes bzw. dotierbares Material mit einem hoch dotierten bzw. dotierbaren Material kombiniert werden kann, auch wenn die Gitterfehlanpassung zwischen beiden Materialien groß ist.

- 5 Als Beispiel seien hierzu die Halbleiterbauelemente auf der Basis von GaN genannt.

## Patentansprüche

1. Halbleiterbauelement, bei dem in ein und demselben Halbleiterkörper (3) ein erstes Halbleitermaterial (1) mit einer ersten Gitterkonstante mit einem zweiten Halbleitermaterial (2) mit einer zweiten Gitterkonstante kombiniert ist und die erste und zweite Gitterkonstante voneinander verschieden sind,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
das erste Halbleitermaterial (1) zumindest in einem Teilbereich eine Matrix (4) bildet, in der eine Mehrzahl von submonolagen Inseln (5) eingebettet sind, die das zweite Halbleitermaterial (2) aufweisen.
- 15 2. Halbleiterbauelement nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
das zweite Halbleitermaterial (2) höher dotierbar ist als das erste Halbleitermaterial (1) der Matrix (4).
- 20 3. Halbleiterbauelement nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
in der Matrix (4) eine Mehrzahl von Ebenen (6) mit submonolagen Inseln (5) angeordnet sind, deren Abstände voneinander zu einer Hauptfläche (7) des Halbleiterkörpers (3) hin abnehmen.
- 25 4. Halbleiterbauelement nach Anspruch 3,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
an der Hauptfläche (7) eine diese Hauptfläche vollständig bedeckende Schicht (8) aus dem zweiten Halbleitermaterial (2)  
vorgesehen ist.
- 30 5. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
das erste Halbleitermaterial (1) ZnSe und das zweite Halbleitermaterial (2) ZnTe aufweist.
- 35 6. Halbleiterbauelement nach Anspruch 4 oder 4 und 5,

dadurch gekennzeichnet, daß  
die Dicke der die Hauptfläche (7) vollständig bedeckenden  
Schicht (8) kleiner als 10nm ist.

### Zusammenfassung

Halbleiterbauelement mit gitterfehlangepaßten Halbleitermaterialien

5

Halbleiterbauelement, bei dem in ein und demselben Halbleiterkörper ein erstes Halbleitermaterial mit einer ersten Gitterkonstante mit einem zweiten Halbleitermaterial mit einer zweiten Gitterkonstante kombiniert ist und die erste und  
10 zweite Gitterkonstante voneinander verschieden sind. Das erste Halbleitermaterial (1) bildet zumindest in einem Teilbereich eine Matrix (4), in der eine Mehrzahl von submonolagen Inseln (5) eingebettet sind, die das zweite Halbleitermaterial (2) aufweisen.

15

(Figur 1)